

Werk

Jahr: 1935

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:11

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0011

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0011

LOG Id: LOG_0042

LOG Titel: Der vergessene Krakatau

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

atmosphäre unwahrscheinlich, soweit diese Wirkung einer raschen Temperaturerhöhung über 90 km auf etwa 1000⁰ K entsprechen soll.

Eine Unsicherheit kommt in die Rechnung dadurch, daß das Verhalten des Rekombinationskoeffizienten bei den hier in Betracht kommenden kleinen Drucken nicht bekannt ist. Im ungünstigsten Fall, wenn α innerhalb der ganzen E -Schicht konstant ist, wird Θ auf etwa 170⁰ C festgelegt. Auf einen wesentlich niedrigeren Wert von Θ (etwa 30⁰ C) wird man geführt, wenn man den aus den allgemeinen Berechnungen Chapmans*) folgenden α -Wert, der je nach der von ihm angenommenen Ionendichte von $1 \cdot 10^8$ oder $5 \cdot 10^8$ Paaren/ccm die Größe $3 \cdot 10^{-12}$ bzw. $6 \cdot 10^{-13}$ hat, in die obige Formel als Grenzwert für kleine Drucke einführt. Schon bei 323⁰ K ergibt der erstere eine Schichtdicke von etwa 35 km, der zweite von über 40 km. Verlangt man außerdem, was bei seinen Berechnungen stillschweigend vorausgesetzt ist, daß α innerhalb der Schicht annähernd konstant bleibt, so müßte Θ sogar unter 200⁰ K liegen.

Der vergessene Krakatau

Von Kurt Wegener, Graz

Es wird an die Erfahrungen, die beim Krakatau-Ausbruch 1883 gemacht wurden, erinnert.

In neueren Arbeiten über die Stratosphäre werden die Erfahrungen, die uns der Krakatau-Ausbruch 1883 (Explosion) in bezug auf die Stratosphäre verschafft hat, Erfahrungen, die das Spiel der Spekulation stark einschränken, ganz außer acht gelassen. Sie sind offenbar in Vergessenheit geraten und mögen hier den gegenwärtigen Auffassungen gegenübergestellt werden.

1. Die Schallwellen wanderten mehrmals um die Erde und wurden von den Barographen der meteorologischen Stationen aufgezeichnet. Sie haben doch wohl bei ihrem mehrmaligen Weg um die Erde immer die gleiche Bahn gehabt und zeigen *Abnahme* der Geschwindigkeit von 315 auf 302 m/sec bzw. 322 auf 317 m/sec. Nach der Laplaceschen Formel für die Schallgeschwindigkeit c ist letztere nur von der Gaskonstanten R , der absoluten Temperatur T und einer Konstanten $1.4 = K =$ Verhältnis der spezifischen Wärme bei konstantem Druck und konstantem Volumen abhängig; c muß konstant sein, wenn R und T konstant sind.

$$c = \sqrt{K \cdot R \cdot T}.$$

Unter Zugrundelegung dieser Beziehung hat Wiechert**) gezeigt, daß die Annahme einer Änderung der Gaskonstanten R , also einer veränderten Zusammen-

*) Proc. Roy. Soc. London (A) **132**, 370 (1931).

) Zeitschr. f. Geophys. **2, Heft 2/3.

setzung der Luft, nur dann die Rückkehr der vom Schallherd ausgehenden Schallwellen zum Boden erklären würde, wenn man das Daltonsche Gesetz für die Stratosphäre zugrunde legt, und wenn die Umbiegung der Schallstrahlen nach unten nicht, wie es aus der Bahnberechnung wahrscheinlich ist, bei etwa 30 km Höhe erfolgt, sondern an der Grenze der Wasserstoffosphäre, d. h. bei etwa 70 km. Dies ist unwahrscheinlich. Eine mäßige Beimengung von H_2 zur gewöhnlichen Luft aber reicht nicht aus, um die Umkehr der Schallstrahlen zum Boden oder ein ausreichendes Anwachsen der Geschwindigkeit oben zu erklären. Aber die *Änderung* der Geschwindigkeit bei den Schallwellen des Krakatau zeigt ja allgemein, daß die Laplacesche Formel nicht anwendbar ist und daß es sich hier, in dem einzigen bisherigen Fall, in dem Beobachtungen über Änderung der Geschwindigkeit gesammelt werden konnten, um Riemannsche Stoßwellen handelt, deren Geschwindigkeit von dem Druckverhältnis $\Delta p/p$ (Druckschwankung/Gesamtdruck) abhängt, und die der Laplaceschen Formel nicht gehorchen.

Nun hat allerdings Wiechert*) sich bemüht zu zeigen, daß die Rückkehr von Schallstrahlen an die Erde nach Überspringung der sogenannten Zone des Schweigens nicht daher rühren könne, daß die Schallwellen in der geringen Luftdichte der Stratosphäre zu Riemannschen Stoßwellen mit Überschallgeschwindigkeit würden. Unglücklicherweise hat er aber hierbei, wenn r die Entfernung bedeutet, eine Abnahme der Energie mit $1/r^2$ angesetzt, die Atmosphäre also als akustisch homogen behandelt, obgleich sich die Untersuchung doch gerade auf die Folgen der akustischen Inhomogenität bezieht.

Betrachten wir ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung die Orte, wo die zur Erde zurückgekehrten Strahlen eintreffen, so hat sich bis dorthin die Energie proportional $\sim 1/r$ ausgebreitet. Die Ausbreitung dazwischen liegt irgendwo zwischen $1/r$ und $1/r^2$; jedenfalls nicht bei $1/r^2$. Genaueres läßt sich nicht angeben.

In jedem Fall bedeutet die Untersuchung Wiecherts keinen Beweis gegen die Umwandlung der Schallwellen in Riemannsche Stoßwellen in der Stratosphäre; das Verhältnis der Druckschwankung in der Schallwelle Δp zum Gesamtdruck p kann wachsen infolge der Ablenkung und Zusammendrängung der horizontal und flach abgehenden Schallstrahlen nach oben. Wiechert hoffte, mit seiner Untersuchung zeigen zu können, daß nur die Annahme hoher Temperatur in der oberen Stratosphäre zur Erklärung für die Rückkehr der Schallstrahlen an die Erde übrig bliebe.

Die Krakatau-Wellen zeigen, daß die Geschwindigkeit in der Stratosphäre *mit der Zeit* abnimmt, während sie nach der Laplaceschen Formel zeitlich konstant bleiben müßte. Sie sind also Riemannsche Stoßwellen mit übernormaler Geschwindigkeit, bei denen $\Delta p/p$ erst allmählich infolge Absorption abnimmt, und dies ermöglicht den Abstieg der Schallstrahlen zur Erde, bis $\Delta p/p$ zu klein geworden ist; während kein Wert von R oder T der Krakatau-Erfahrung entsprechen würde.

*) Bemerkungen über die anormale Schallausbreitung in der Luft. Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math.-Phys. Klasse, 1925.

2. Nach dem Krakatau-Ausbruch erschienen in 83 km Höhe Wolken (leuchtende, d. h. noch von Sonnenstrahlen getroffene Nachtwolken), die einige Jahre hindurch beobachtet wurden und in diesen Höhen einen Ostwind von 100 m/sec anzeigten. Bei Betrachtungen über Strahlung muß man sich also vergegenwärtigen, daß die Luftmassen in diesen Höhen etwa 24 Stunden hindurch ununterbrochen Strahlung von der Sonne erhalten und hierauf ebenso lange im Erdschatten sein müssen, wenn wir die immerhin mehrjährige Erfahrung verallgemeinern. Nehmen wir hypothetisch an, daß das Rotationsmoment dieser Luftmassen von den Tropen her erhalten blieb, so würden die Luftmassen sich dort mit einer ähnlichen Geschwindigkeit nach Westen bewegt haben, wie die Erdoberfläche nach Osten. Sie können also ununterbrochen lange Zeit hindurch in Äquaturnähe der Sonnenstrahlung, und ebenso lange Zeit der Verdunkelung ausgesetzt gewesen sein.

3. Die Drucke, die in den verschiedenen Höhen herrschen können, werden durch die Voraussetzungen, von denen wir ausgehen, verschieden ausfallen, aber nur innerhalb enger Grenzen.

Die folgende Liste*) der Drucke in mm Quecksilber setzt oberhalb der Troposphäre eine Temperatur von $-55^{\circ}\text{C} = 218^{\circ}\text{abs.}$ voraus:

Höhe	0	20	40	60	80	100 km
Keine leichten Gase	760	41.7	1.9	0.087	0.0042	0.001
Wasserstoff, Helium	760	41.7	1.9	0.101	0.0175	0.0091
Wasserstoff und Geokoronium .	760	41.7	1.92	0.106	0.0192	0.0128

Wollen wir in 100 km Höhe, wo fast reiner Wasserstoff nach der zweiten Reihe vorhanden wäre, dessen Druckwirkung durch Wirkung der Temperatur vom Stickstoff ersetzen, so müssen wir die Molekulargewichte $\text{H}_2 = 2$, Stickstoff $= 28$ berücksichtigen. Wir müßten den Stickstoff auf das 14fache durch Erwärmen ausdehnen, und würden die absolute Temperatur $14 \cdot 218^{\circ} \sim 3000^{\circ}\text{abs.}$ erhalten**); der Versuch, den Wasserstoff abzulehnen und durch höhere Temperatur von Stickstoff oder Sauerstoff (O_2 , Molekulargewicht 32) oder atomarem Sauerstoff O (Molekulargewicht 16) zu ersetzen, ist also verfehlt. Bei Annahme von atomarem Sauerstoff müßte immer noch die Temperatur $8 \cdot 218 \sim 1600^{\circ}\text{abs.}$ betragen.

Vergleichen wir jetzt mit unserer Tabelle die Tabelle der maximalen Dampfspannung über Eis (E_{Eis}).

t	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
E_{Eis} . .	4.58	1.97	0.79	0.29	0.095	0.0293	0.0072

Die Kondensation bei 83 km Höhe nach dem Krakatau-Ausbruch ist zweifelsfrei. Die Maximaldampfspannung muß also dort erreicht worden sein. Dies

*) Neben anderen Überlegungen entnommen aus „Vorlesungen über Physik der Atmosphäre“ von Alfred Wegener und Kurt Wegener. Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig.

***) $\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_2}{218}$; $\frac{v_2}{v_1} = 14$, also $T_2 = 14 \cdot 218$.

kann nur dann der Fall sein, wenn die Temperatur *höchstens* — $55^{\circ}\text{C} = 218^{\circ}\text{abs.}$ betrug, falls dort vorübergehend nach dem Krakatau-Ausbruch reiner Wasserdampf vorhanden war. Falls andere Gase beigemischt waren, was ich für wahrscheinlicher halte, ist die Temperatur tiefer anzusetzen. In keinem Fall höher, weil sonst der Maximaldruck des Dampfdruckes nicht erreicht werden konnte. Wir haben also zwischen 10 und 30 km Höhe Isothermie von $\sim -55^{\circ}\text{C}$ und finden die gleiche oder eine niedrigere Temperatur in 83 km Höhe.

Die Annahme einer Wasserstoff- und Geokoroniumsphäre wurde nicht nur durch das Daltonsche Gesetz nahegelegt, sondern wurde notwendig wegen der Lichterscheinungen. Das Leuchten eines Gases setzt einen bestimmten Minimaldruck voraus. In der Technik wird dieser erreicht durch Zufüllung eines Edelgases, das optisch nicht nachweisbar ist, und nur die Aufgabe hat, den Druck zu erhöhen. Leugnet man also die Wasserstoff- (und Geokoronium-) Sphäre, so ist es notwendig, sich mit der Frage auseinanderzusetzen, wie dann die für die Lichterscheinung notwendigen Drucke erhalten werden sollen. Solange man die Lichterscheinungen oberhalb 250 km Höhe anzweifeln konnte, kam man mit Wasserstoff allein aus. Die Störmerschen Messungen von Polarlichtern in 500 km machen die Annahme eines noch leichteren Gases (Geokoronium, Atomreste, H_1) in der Höhe plausibel.

Betrachten wir nun kurz, wie die glänzenden Entdeckungen der letzten Zeit (Regener, Götz, Dobson, Meetham u. a.) sich mit den älteren Erfahrungen zusammenfügen.

Wasserdampf muß wegen seines Molekulargewichtes 18 gegen 28 des Stickstoffs und 32 des Sauerstoffs nach dem Daltonschen Gesetz bis weit in die Wasserstoffosphäre hinaufreichen. Er wird, was experimentell bekannt ist, durch ultraviolette Strahlung zerlegt in H_2 und O; die Zunahme der ultravioletten Strahlung mit der Höhe ist gesichert, ebenso ist zweifellos Wasserdampf noch in der hohen Stratosphäre vorhanden (Kondensation bei 83 km!) und dieser Wasserdampf wird teilweise ebenso zweifellos zerlegt. Es muß also atomarer Sauerstoff in schwacher Beimengung da sein, und es kann sich Ozon bilden. Nach den Ozonmessungen würde der Ozongehalt in einer homogenen Atmosphäre von $8 \cdot 10^6$ mm eine Schicht von nur 3 bis 4 mm ausmachen.

Die grüne Polarlichtlinie wird, nach manchen anderen Erklärungsversuchen, jetzt aus atomarem Sauerstoff erklärt. Da möglicherweise der eine oder andere glauben wird, daß die Erklärung nach so vielen Irrwegen in dieser Frage erst noch einiger Bestätigung bedürfe, so sei darauf nachdrücklich hingewiesen, daß der atomare Sauerstoff in jedem Fall vorhanden sein muß, unabhängig von der Frage der grünen Linie, und daß die jetzige Erklärung der grünen Linie immerhin plausibel ist.

Am schwierigsten ist die Frage der allerdings nur ungenau bestimmten Höhenlage der Ozonschicht. Nimmt man an, daß das Ozon sich auf die gesamte Stratosphäre, wenigstens bis etwa 200 km, verteilt, so erhält man eine geringe Temperaturerhöhung, die in die praktisch isotherme Temperatur der Stratosphäre eingehen würde.
